

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství**  
**Katedra neželezných kovů, rafinace a recyklace**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Nové metody zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů  
New methods of processing of waste foils from beverage cartons

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Barabáš**  
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství  
Studijní obor: 3911R033 Recyklace materiálů  
Téma: **Nové metody zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů**  
**New methods of processing of waste foils from beverage cartons**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Zpracování literární rešerše se zaměřením na:

- základní charakteristiku odpadních nápojových kartonů
- legislativu týkající se problematiky
- způsoby zpracování odpadních nápojových kartonů, využití materiálových složek
- technologie zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů
- hodnocení současného stavu, možnosti zpracování tohoto typu odpadu pro budoucnost.

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] WORRELL, Ernst a M. A. REUTER, ed. Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists. Amsterdam: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-396459-5.
- [2] BEŇO, Z. Recyklace: efektivní způsoby zpracování odpadů. Brno: VUT, FSI, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2011. ISBN 978-80-214-4240-5.
- [3] KURAŠ, M. Odpady a jejich zpracování. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

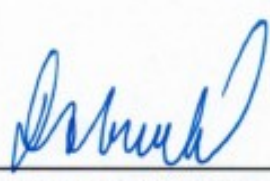
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Malcharcziková, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 07.05.2018

  
prof. Ing. Miroslav Kursa, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.  
děkanka fakulty

# **Zásady pro vypracování bakalářské práce**

## **I.**

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

## **II.**

### Uspořádání bakalářské práce:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list                              | 6. Obsah BP                  |
| 2. Originál zadání BP                        | 7. Textová část BP           |
| 3. Zásady pro vypracování BP                 | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení     | 9. Přílohy                   |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky |                              |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).



Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

- ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.  
Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.
- ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

### III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahore: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*  
*Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství*  
*Katedra . . . . .*

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

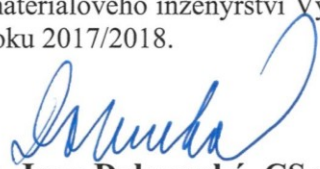
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

### IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017

  
**Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.**  
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství  
VŠB-TU Ostrava

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

**Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.**

V Ostravě 7.5. 2018

Jakub Karabala  
.....  
podpis (jméno a příjmení studenta)

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jitce Malcharczikové, Ph.D. za poskytnutí cenných rad, podnětné připomínky a pomoc při praktické zpracování praktické části. Také bych chtěl poděkovat firmě Plastigram Industries a.s. za poskytnuté informace a zkušební vzorky.

Při řešení této práce bylo využito zařízení pořízené v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0040 “Regionální materiálově technologické výzkumné centrum” – ruční rentgenový spektrometr Delta Professional. Práce byla zpracována díky podpoře projektu č. LO1203 "Regionální materiálově technologické výzkumné centrum – program udržitelnosti“ financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce je zaměřena na možnosti využití odpadních fólií z nápojových kartonů a jejich recyklaci. V posledních letech dochází ke stálému nárůstu odpadu z obalových materiálů zvláště nápojových kartonů. V práci je uveden souhrn postupů pro různé zpracování nápojových kartonů a možnosti využití jeho jednotlivých složek, ze kterého je složen. V návaznosti na problematiku zpracování odpadních fólií je praktická část založena na materiálovém zhodnocení těchto fólií, včetně získání hliníku.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** nápojový karton, tetrapak, recyklace, využití odpadů, odpad

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis focuses on the utilization of waste foils from beverage cartons and their recycling. In recent years there has been a steady increase in waste from packaging material, especially beverage cartons. The thesis presents a summary of procedures for the various processing of beverage cartons and the possibility of using individual components from which they are composed. As a result of the processing of waste films, the practical part is based on the material evaluation of these films, including the acquisition of aluminum.

**KEYWORDS:** beverage carton, tetrapak, recycling, waste recovery, waste

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Celý název
PE	Polyethylen
CO	Oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
CH <sub>4</sub>	Methan
H <sub>2</sub>	Plynný vodík
Al,ALU	Hliník
Tetrapak	Výrobce nápojového kartonu



## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Historie, složení a základní charakteristika nápojových kartonů .....	2
2.1 Historie .....	2
2.2 Složení nápojových kartonů .....	3
2.3 Polyethylenová fólie.....	5
2.4 Hliníková fólie .....	5
2.5 Bez dřevý karton .....	5
3. Třídění a sběr použitých nápojových kartonů .....	6
3.1 Třídění v ČR.....	7
3.2 Třídění v Evropě.....	8
4. Způsoby využití.....	8
4.1 Rozvláknění nápojového kartonu v papírnách .....	9
4.1.1 Zpracování zbytkového polyethylenu a hliníku .....	10
4.2 Oddělení polyethylenové fólie a hliníku .....	11
4.2.1 Pyrolýza.....	11
4.2.2 Delaminace odpadních fólií.....	12
4.3 Zpracování celých kusů nápojových kartonů.....	16
4.3.1 Lisování na stavební desky.....	16
4.3.2 Výrobky z vylisovaných nápojových kartonů.....	18
4.4 Jiné metody využití .....	19
4.4.1 Energetické využití – spalování .....	19
5. Cíle práce .....	20
6. Praktická část .....	21
6.1.1 Zpracování vzorku T2 .....	22
6.2 Žihání velikostně nerozděleného vzorku T2 .....	27
6.3 Žihání vzorku o velikosti < 3,15 mm .....	30
6.4 Zpracování a žihání velkých kusů nápojových kartonů .....	32
6.5 Využití produktů po zpracování .....	36
7. Závěr .....	37
Seznam použité literatury.....	39

## 1. Úvod

V poslední době dochází s rostoucím počtem obyvatel a s rostoucí životní úrovní k nárůstu spotřeby přírodních zdrojů, což je doprovázeno i zvýšenou produkcí odpadů. Jednou z mnoha cest, jak zmírnit nárůst produkce různých druhů odpadů je jejich využití, materiálové nebo energetické. Velkým problémem jsou použité obaly, kterých je díky stávající tržní politice vyprodukováno každoročně obrovské množství. Tyto by se měli brát jako zdroj druhotných surovin, a nikoli jako něco, co již nelze dále využít.

Jedním z hlavních protagonistů obalového odpadu jsou obaly z nápojových kartonů, které patří do skupiny kombinovaných obalů, které se hůře recyklují. Mezi největší výrobce těchto obalů patří společnost Tetra Pak, SIG Combibloc a Elopak. Avšak tento druh obalů je často vyhledáván zákazníky, jelikož dokáže ochránit obsah obalu před vnějšími vlivy. Hlavním problémem recyklace nápojových kartonů je to, že jsou složeny z několika vrstev odlišných materiálů, které slouží svému účelu (bez dřevý karton, polyethylen, hliník).

Jednou z variant možného nakládání s nápojovými kartony a také zároveň tou nejhorší co může být, je ukládání na skládky. Ať už z důvodu znečištění životního prostředí, ale hlavně bychom nezískali poměrně cenné suroviny jako je kvalitní celulóza, polyethylen nebo hliník. Z těchto důvodů je výhodná jejich separace a následné využití.

Cílem této bakalářské práce je popsat jednotlivé způsoby nakládání s použitými nápojovými kartony a zabývat se různými technologiemi využití tohoto odpadu. V praktické části své práce jsem se zabýval možnostmi zpracování odpadních fólií z použitých nadrcených nápojových kartonů a následně žíháním celých nenadrcených kousků nápojových kartonů, abychom získali, popřípadě zvýšili procentuální množství hliníku. Pro praktickou část byly poskytnuty vzorky firmou Plastigram Industries a.s. Tato firma se zabývá zpracováním zbytkových fólií z nápojových kartonů a podobného odpadu.

## 2. Historie, složení a základní charakteristika nápojových kartonů

### 2.1 Historie

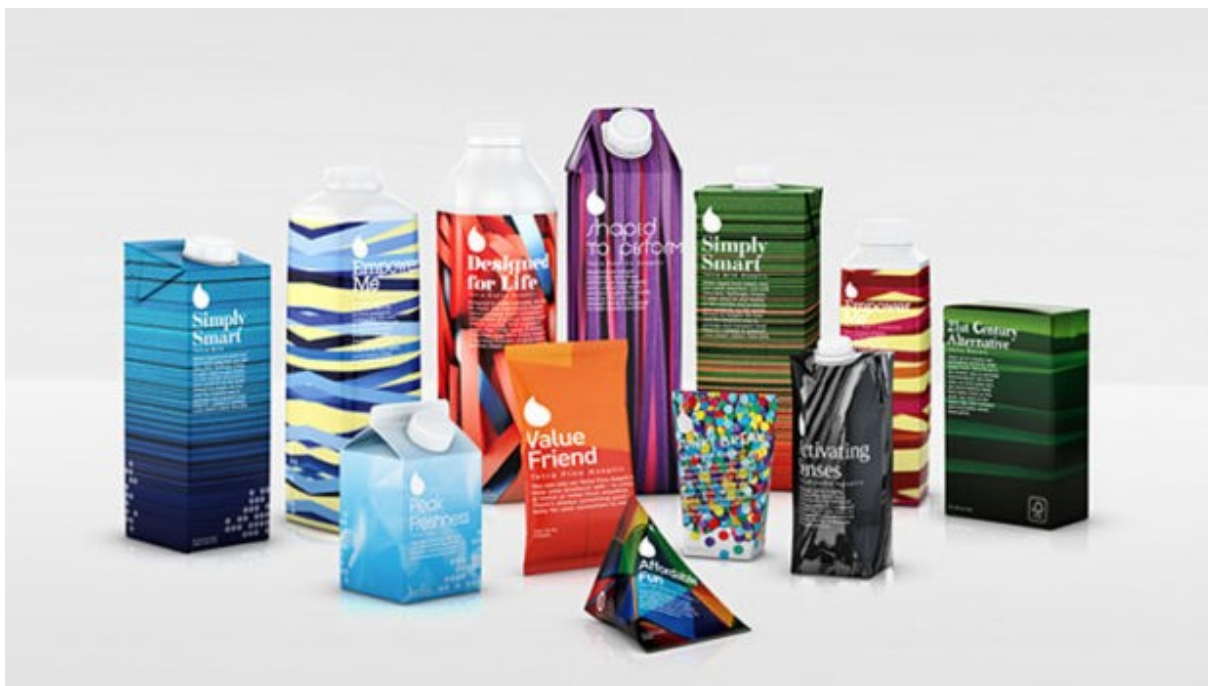
První nápojové kartony se objevily ve Švédsku v první polovině 20. století, kdy firma Tetra Pak uvedla na trh svůj legendární čtyřstěnný obal. Za vynálezem tohoto revolučního nápadu je podepsán spolumajitel firmy, která vyráběla papírové obaly pro suché potraviny Ruben Rausing. Ten byl posedlý myšlenkou balit do papírového obalu také tekuté potraviny jako je mléko, smetana apod. Vývoj nápojového kartonu začal uprostřed druhé světové války v roce 1943. O rok později Rausingův asistent přišel s nápadem konstruovat obal ve tvaru čtyřstěnu, avšak stále nebyla vyřešena technologie plnění. Nakonec velice překvapivě Rausingova žena vnukla muži nápad o kontinuálním plnění, tak jako se plní střívká párků [1].

Jako další problém se ukázal být obalový materiál. Základ totiž tvořil papír, který musel být upraven tak, aby nepropouštěl tekutinu. Po letech pokusů, kdy bylo použito mnoho materiálů jako například parafínový vosk nebo celofán, které nevyhovovali, bylo rozhodnuto, že bude použit polyethylen, který vyhovoval nejvíce [1].

První stroj na výrobu těchto čtyřstěnných obalů byl dodán do mlékárny společností Tetra Pak v roce 1952. To znamenalo revoluci a tento obal se stal tak populárním, že vytlačil dosavadní těžké a nepraktické skleněné balení do pozadí [1].

Mezi největší milník vývoje nápojových kartonů patří vynález aseptického balení a aseptického kartonového obalu Tetra Classic Aseptic, který byl uveden na trh v roce 1961. Ten se od předchozího obalu lišil tím, že obsahoval tenkou hliníkovou fólii, která má za úkol chránit potraviny před světlem, kyslíkem a mikroorganismy [1].

V současné době má nápojový karton nespočet tvarů, které slouží svému účelu (obr. 1). Také s rostoucím zájmem o ochranu přírody se navrhl certifikát FSC (obr 2), který zaručuje, že dřevo, ze kterého je papír vyroben, pochází ze šetrně obhospodařených lesů [2,3]. V dnešní době patří ke klíčovým výrobcům nápojových kartonu na evropském trhu již zmiňovaný Tetra Pak dále SIG Combibloc a Elopak [3].



Obrázek 1 Různé tvary nápojového kartonu [4]



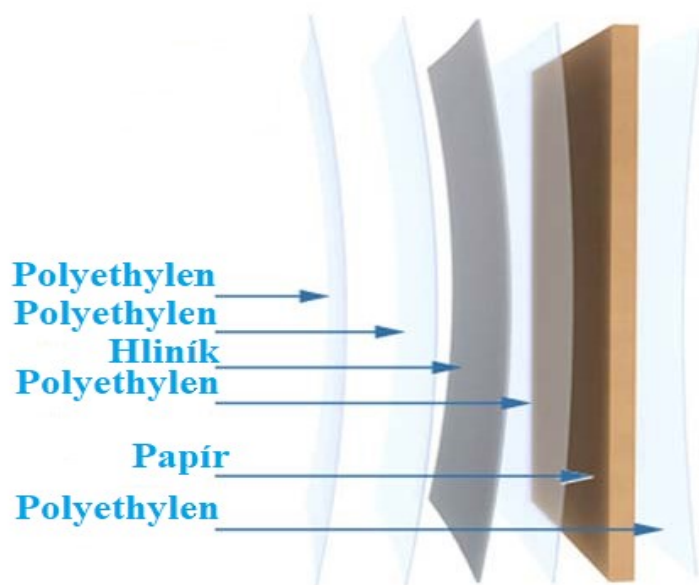
Obrázek 2 Certifikát FSC na kartonu od mléka

## 2.2 Složení nápojových kartonů

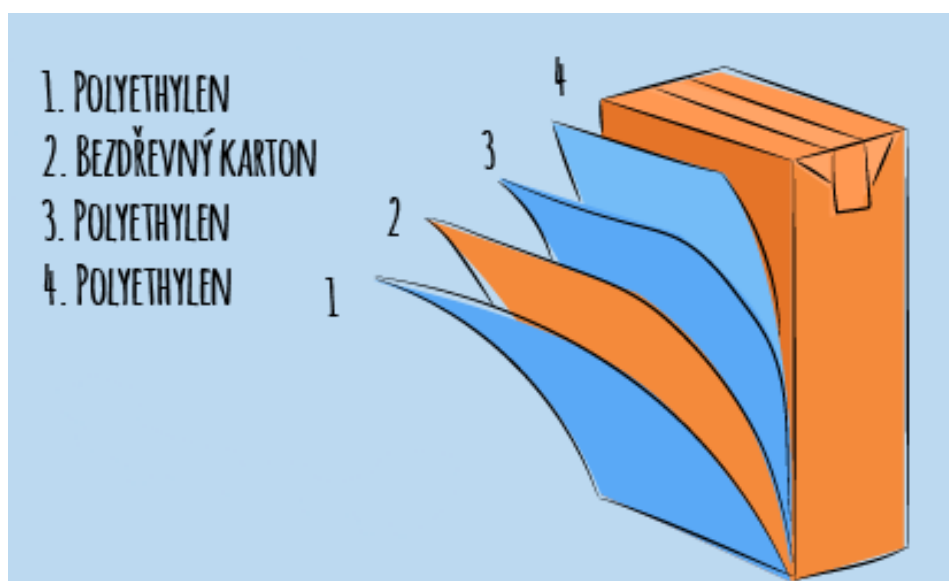
Nápojový karton je vyroben ze tří hlavních materiálů – polyethylenová fólie o tloušťce 0,05 mm (nepropustná pro vodu), hliníkové fólie a tloušťce 0,0065 mm (chrání obsah kartonového obalu před pronikáním světla) a papírového kartonu [3].

Nápojové kartony se dělí do dvou skupin – aseptické (pro uchování trvanlivých výrobků bez použití konzervantů, obr. 3) a neaseptické (pro pasterované nápoje a potraviny).

Aseptické kartony obsahují 6 vrstev, jimiž jsou čtyři vrstvy polyethylenu, jedna vrstva hliníku a v poslední řadě papírový karton (obr. 5). Oproti aseptickému obalu, který obsahuje hliník, neaseptický karton hliník neobsahuje a skládá ze čtyř vrstev (tři vrstvy polyethylenu a jedna vrstva papírového kartonu, obr. 6)) [3,5].



Obrázek 3 Složení aseptického kartonu [5]



Obrázek 4 Složení neaseptického kartonu [6]



## 2.3 Polyethylenová fólie

Pro nápojové kartony se používá polyethylen v tenké vrstvě nánosu (0,05 mm), který i při minimální spotřebě materiálu dostatečně uzavírá tekutý nebo sypký obsah a dokonale jej izoluje od mikroorganismů a vlhkosti [7].

Polyethylen je termoplast, který vzniká polymerací ethenu. Z fyzikálního hlediska je to houževnatá pružná hmota, na dotek voskově mastná. Je bez chuti a bez zápachu, fyziologicky nezávadný. Tepelně stálý je asi do 60 °C, měkne při 100 až 120 °C. Je lehčí než voda (hustota  $\rho = 0,92 \text{ g/cm}^3$ ). Za normální teploty odolává působení většiny kyselin i zásad. Je nerozpustný v organických rozpouštědlech a naprosto odolný proti vodě [7].

## 2.4 Hliníková fólie

Hliníková fólie chrání obsah před světlem, kyslíkem a bakteriemi. Tuto ochranu zajišťuje fólie o tloušťce 0,0065 mm. Na vnitřní stranu obalu se na hliník nanáší polyethylen tak, aby hliník nebyl v dlouhodobém kontaktu s potravinami. Použití hliníku je z hlediska dopadu na životní prostředí i z hlediska dalšího využití nejproblematictější složkou nápojových kartonů [8].

## 2.5 Bezdřevý karton

Je to základní materiál obalu, který tvoří 70-85 % jeho hmotnosti. Karton poskytuje obalu stabilitu, sílu a hladkost povrchu. Pevnost a tuhost zajišťují dlouhá vlákna celulózy, která se získávají ze stromů rostoucích ve skandinávských lesích [8].



*Obrázek 5 Hmotnostní složení aseptického kartonu*



*Obrázek 6 Hmotnostní složení neaseptického kartonu*

### 3. Třídění a sběr použitých nápojových kartonů

V dnešní době se pro sběr nápojových kartonů se využívají oranžové kontejnery. Tyto však nejsou rozšířeny ve všech městech, jako kontejnery na plast nebo papír. Kartony je tedy možné odevzdat ve sběrných surovinách, nebo společně s papírem třídit do modrých kontejnerů a společně s plastem do žlutých pytlů a kontejnerů.

Do oranžových kontejnerů (obr. 8) patří zejména krabice od mléka, džusů, vín, a dalších tekutin balených v těchto obalech. Je doporučeno, aby byly sešlápnuty, jelikož se ušetří místo a kontejner pojme více odpadu. Kartony bývají označeny buďto číselným kódem (81, 84) nebo zkratkou pro kombinované materiály (C/PAP, obr. 7) [9].



Obrázek 7 Kódy a označení nápojových kartonů [9]



Obrázek 8 Kontejner na nápojové kartony [9]

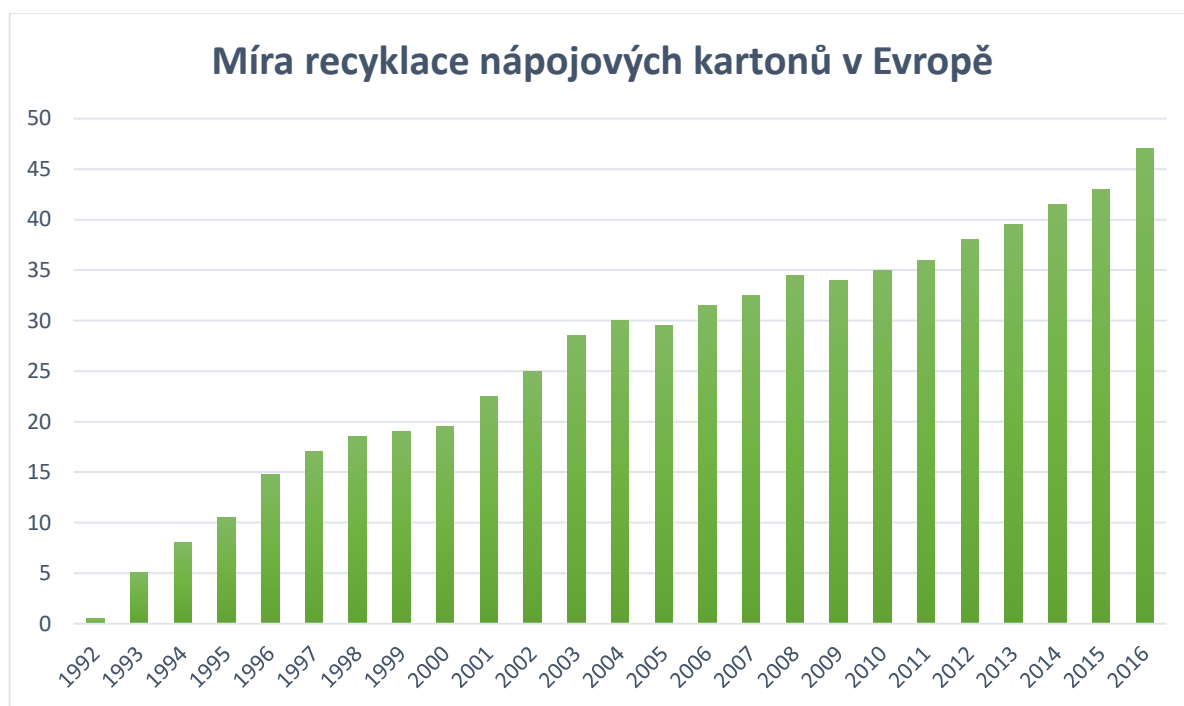
### 3.1 Třídění v ČR

Separovaný sběr nápojových kartonů začal v roce 2002, kdy nabyl účinnosti zákon č. 477/2001 Sb., o obalech, který již přesněji definuje povinnosti spojené s nakládáním s obaly a obalovými odpady. Od té doby množství vytríděných nápojových kartonů roste každým rokem [10].

V České Republice se dle posledních výzkumů vytřídilo v roce 2016 24 % veškerých nápojových kartonů, které byly uvedeny na trh v tuzemsku. Při průměru třídění v Evropské unii (EU), který činí 47 %, je Česká Republika v třídění nápojových kartonů hluboko pod průměrem [11].

### 3.2 Třídění v Evropě

Míra recyklace nápojových kartonů v Evropě stoupá každým rokem. Dle nejnovějších údajů bylo v roce 2016 vytříděno 47 % veškerých nápojových kartonů, které byly uvedeny na trh v Evropské Unii. Avšak míra recyklace v některých zemích evropské unie přesahovala 70 %. To je téměř sedmdesátinásobný nárůst oproti roku 1992 kdy bylo recyklováno jen 6 000 tun (obr. 9) [12].



Obrázek 9 Míra recyklace v Evropě v průběhu let 1992–2016

## 4. Způsoby využití

Použité nápojové obaly mají velice široké využití, například ve stavebnictví, kde můžou nahradit stávající materiály. Zpracovaný nápojový karton se také může slisovat do střešních šindelů (vlnovek) nebo také na různé životu užitečné věci jako například lavice, květináče, lavičky apod. Dále se můžou využít energeticky, kdy se spaluje společně s komunálním

odpadem za vzniku například tepelné energie nebo energie ve formě elektřiny a dále pyrolyzním rozkladem za vysokých teplot [15,17].

#### 4.1 Rozvláknění nápojového kartonu v papírnách

Při rozvláknění se nejdříve oddělí jednotlivé vrstvy fólie vířivým rozvlákněním (podobně jako při recyklaci papíru). Na sítech se zachytí kvalitní papírová vlákna, která se dále používají k výrobě kvalitnějšího papíru nebo lepenky [14].

Rozvláknění probíhá ve vířivém rozvlákňovači (obr 10), který se naplní celými kartonovými obaly a vodou. Proces rozvlákňování trvá přibližně 15-30 minut a během této doby se vlákna rozvolní a vytvoří vodnou suspenzi – vlákninu. U této metody se nemusí používat žádné jiné chemikálie ani teplá voda [13,39].

Mezi hlavní faktor úspěšného rozvláknění patří materiálová čistota. U nápojových kartonů, které byly vytríděny, by nemělo znečištění překročit 10% hranici. Proto je rozvlákňovač vybaven systémem, který umožňuje účinně odstranit nevláknité materiály, jako jsou zbytky obsahu kartonu, polyetylenových a hliníkových fólií, tiskařských barev, bláta, písku, kovového odpadu a jiných cizorodých látek [13] [14].

Pomocí této metody se získá z nápojových kartonů 70-90 % celulózových vláken, která jsou určena k další výrobě papíru [14].





*Obrázek 10 Vertikální typ rozvlákňovače: nahoře prázdný, dole při procesu rozvlákňování [16]*

#### 4.1.1 Zpracování zbytkového polyethylenu a hliníku

##### *4.1.1.1 Lisování do střešních šindelů*

Jedním ze zajímavých způsobů využití je lisování zbylého polyethylenu a hliníku po rozvlákňení do střešních šindelů (obr. 11). Tato metoda spočívá v tom, že odseparovaný polyethylen a hliník se musí nejdříve vysušit. Po usušení se polyethylen s hliníkem dávkuje do lisu, který za teploty 180 °C vylisuje desku o rozměrech 2 m x 1 m. Po vytažení je deska horká a ohebná, což umožňuje vytvarování desky do vlnovek [33].



*Obrázek 11 Střešní šindel neboli vlnovka [33]*

## 4.2 Oddělení polyethylenové fólie a hliníku

### 4.2.1 Pyrolýza

Pyrolýza je chemický rozklad teplem v nepřítomnosti oxidačních médií, jako je kyslík, voda nebo oxid uhličitý. Teploty při pyrolýze se pohybují kolem 300-800 °C. Při těchto teplotách se uvolní těkavé látky a vysokomolekulární organické látky se rozloží na nízkomolekulární látky a molekuly s dlouhými řetězci se rozštěpí na molekuly s kratšími řetězci [17,24].

V praxi můžeme rozdělit pyrolýzu do tří kategorií podle používaných teplot:

- Nízkoteplotní (< 500 °C)
- Středně teplotní (500–800 °C)
- Vysokoteplotní (> 800 °C) [25].

Proces pyrolýzy rozdělujeme do dvou stupňů, kdy v prvním stupni se odpad zahřeje za nepřítomnosti vzduchu a uvolní se plyny. Kromě plynů vznikají také pevné zbytky, jako jsou polokoks a popel. Ve druhém stupni jsou některé vzniklé plyny spáleny při teplotách kolem 900-1300 °C podobným způsobem, jako v konvenčním spalovacím zařízení. Při pyrolýze vznikají tři produkty – tuhý zbytek (pyrolýzní uhlík s celou řadou prvků), pyrolýzní kapalina (směs pyrolýzního oleje a vody) a pyrolýzní plyn (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) [15,17,26,27].

Tento proces má své výhody, avšak jako každý složitý proces má také své nevýhody.

#### **Výhody:**

- energetická nezávislost
- pyrolýzní plyn se může využít jako palivo pro motory a turbíny
- z polokoksu a škváry lze získat cenné látky (olovo, zinek)
- nižší teplota umožňuje delší životnost zařízení
- řízení procesu je relativně snadné [15,17].

#### **Nevýhody:**

- pyrolýza je nákladnější než spalování, pokud jsou pyrolýzní produkty dále spalovány
- konstrukční materiály jsou poměrně drahé, jelikož proces probíhá v redukční atmosféře, v důsledku toho je produkt vysoce korozivní
- mohou se vytvářet karcinogenní látky
- v České republice se používá spíše v laboratorních podmínkách nebo poloprovozech [15,17].

#### **4.2.2 Delaminace odpadních fólií**

Spotřeba aseptických obalových materiálů celosvětově stoupá, proto jsou po celém světě vyvíjeny technologie pro zpracování a co nejlepší využití a jednou z nich je studie mokrého procesu oddělení hliníku a polyethylenu z kompozitních materiálů poté, co byl papír oddělen z obalového odpadu. Cílem výzkumu bylo získat oddělené složky v pevném stavu ze zbytku odpadních fólií včetně hliníku. Při pokusech v laboratoři prováděných v Číně byla srovnávána účinnost separace dosažená pomocí různých separačních činidel. Dále byly sledovány jednotlivé separační mechanismy a vliv mnoha parametrů, jako je koncentrace činidla, teplota a poměr kapalina-pevná látka v souvislosti s délkou procesu oddělení a ztrátovým podílem hliníku [28].

V laboratoři byly použity roztoky kyseliny chlorovodíkové, octové nebo mravenčí. Při použití roztoků o stejné molární koncentraci 6 mol/l bylo zjištěno, že všechna tato činidla oddělí jednotlivé vrstvy odpadního materiálu. Kyselina chlorovodíková má velmi krátkou dobu pro separaci, dochází však k celkové ztrátě hliníku. Kyselina octová a kyselina mravenčí oddělila hliníkovou fólii od polyethylenové fólie za delší čas (18 a 35 minut) než u kyseliny

chlorovodíkové, ale ztrátový podíl hliníku byl výrazně nižší než při použití roztoku HCl. Čas nutný pro separaci byl vyšší u kyseliny octové než u mravenčí. Z toho vyplynulo, že kyselina mravenčí rozpouští hliník minimálně a za přijatelný čas, proto je na delaminaci fólií nejideálnější. Naopak kyselina chlorovodíková rozpustila hliníkovou fólii a ztrátový poměr hliníku byl tedy 100 %, proto se zdála jako nejméně vhodná. Výsledné parametry separace při použití roztoků kyselin o molární koncentraci 6 mol/l jsou sepsány v tabulce 1 [28].

*Tabulka 1 Výsledky separace [28]*

	Kyselina chlorovodíková	Kyselina mravenčí	Kyselina octová
Doba separace (min)	0,8 ± 0,2	18,5 ± 3,5	35 ± 4,5
Ztrátový poměr hliníku (%)	100	4,26 ± 0,15	10,74 ± 0,20

Dále byly ověřovány další parametry ovlivňující separační proces. V rámci experimentů bylo zjištěno, že nejvhodnější pro separaci PE jsou tyto podmínky: separační činidlo je kyselina mravenčí (methanová) při koncentraci činidla 2-4 mol/l, teplota 60 až 80 °C a poměr kapalina/pevná látka 30 l/kg. Pokud budou splněny tyto podmínky, mělo by dojít k oddělení polyethylenu a hliníku za méně než 30 min a se ztrátou hliníku méně než 3 %. Tento proces může být prováděn jako kontinuální, a proto jej lze využít v průmyslovém měřítku. Při zkušebním provozu byla stanovena výtěžnost procesu více než 98 % u polyethylenu a 72 % u hliníku. To znamená, že oddělením a zpracováním 1 t hliník-polyethylenového kompozitního obalového materiálu se dosáhne zisku 1769 Yuan (v současném kurzu je to 5 788,- Kč) [28].

Mezi produkty této metody patří polyethylen (obr. 13) a hliníková drť (obr. 14). Polyethylen byl zgranulován a podroben analýze chemického složení, z čehož vyplynulo, že takto získaný produkt měl čistotu 99,6 hm. %. Dále bylo prokázáno, že dosažené hodnoty toku taveniny a mechanických charakteristik odpovídaly požadovaným hodnotám dle odpovídajících norem pro protlačované termoplastické výrobky [28].

Získaná hliníková drť obsahovala 87,18 hm. % hliníku. Dále byly stanoveny obsahy jiných prvků jako jsou - uhlík (1,58 hm. %), kyslík (9,61 hm. %), sodík (0,28 hm. %), křemík (0,21 hm. %), síra (0,17 hm. %), chlor (0,25 hm. %) a železo (0,71 hm. %) [28]. Produkt

získaný tímto způsobem měl dostatečnou kvalitu pro použití v pyrotechnice nebo pro výrobu hliníkových ingotů [28].



*Obrázek 12 Vyseparovaný polyethylen [28]*



*Obrázek 13 Vyseparovaný hliník [28]*

I další autoři [Zawadiak] uvádějí podmínky pro delaminaci pomocí kyseliny mravenčí za odlišných podmínek. Jako delaminační činidlo byla použita 20 % kyselina a teplota procesu byla 40 °C. Výsledky delaminace jsou vidět na obrázku 14 [16].



Tento autor také uvádí, že odstranění zbytkového rozpouštědla z produktu bývá problematické. Polymer degraduje v důsledku vysoké teploty rozpouštědla a takto snížená kvalita by měla za následky nižšího výdělku, jelikož Al se vyrábí v nižším množství [16].



*Obrázek 14 Polyethylen (vlevo) a hliník (vpravo) po delaminaci [16]*



*Obrázek 15 Konečné produkty získané z PE-AL laminátu z extrakcí rozpouštědla – Napravo hliník (Al -59,9 hm.%, 35,2 hm% organických nečistot), Vlevo bílý LDPE prášek [16]*

#### 4.2.2.1 Využití hliníku po separaci z PE/ALU

Takto vyseparovaný hliník ve formě drtě nebo prášku má celou řadu různých aplikací v odlišných odvětvích jako jsou:

- prášková metalurgie (výrobky Al a jeho slitin pomocí práškové metalurgie)
- výroba barevných pigmentů, lakových barev, tmelů
- výroba pórobetonu (napomáhá k vytvoření pórů v betonu)
- laboratorní chemikálie
- plnivo do licích forem (pomáhá odvádět teplo pryč z formy)
- pyrotechnika (slouží jako hořlavina a pomocná látka) [29,30,31,32].

### 4.3 Zpracování celých kusů nápojových kartonů

#### 4.3.1 Lisování na stavební desky

Stále více firem zjišťuje, že i odpad může být cennou stavební surovinou. Mezi tyto odpady patří hlavně nápojové kartony, které se rozhodla využívat jako stavební materiál například firma Flexibuild. Tato firma používá speciální technologii, která je mimochodem českým patentem, pomocí níž vyrábí stejnojmenné panely z nápojových kartonů.

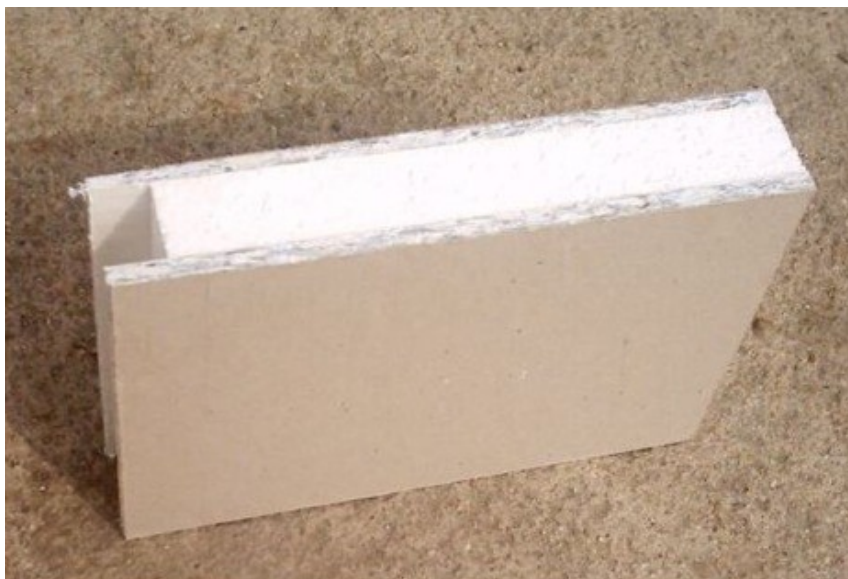
Vzniká jednoduchý, montovaný stavební systém, který je vhodný k výstavbě přízemních nebo jednopatrových nízkoenergetických rodinných domů. Umožňuje stavět jak ekologické, tak ekonomicky dostupné domy (od 1,5 mil. Kč).

Kartony se nadrtí na malé kousky, které se následně vysuší, aby se dále mohly lisovat jak v teplém, tak poté ve studeném lisu. Ty se následně oříznou a vznikne stavební deska Flexibuild (obr. 14) [18] [19] [20].

Stavebních desek s obsahem recyklátu je celá řada, mezi které patří:

- Deska FLEXIBUILD BASIC – Deska určena k obkladům v interiéru i v exteriéru, kde se bude provádět finální úprava povrchu obklady, nebo tenkovrstvými omítkami.
- Deska FLEXIBUILD CARTON – Deska určena k obkladům v interiérech, kde se bude provádět pouze finální úprava povrchu nanesením barvy.

- Deska FLEXIBUILD PATTERN – Používá se jako speciální obkladová deska pro interiéry v základním použití s přiznanými spárami nebo jako podhledový čtverec pro snížené stropní podhledy do základní konstrukce z AL profilů.
- Deska FLEXIBUILD ALU – Pro podlahové systémy především pro podklad pod podlahové vytápění
- Deska FLEXIBUILD WATERPROOF – Pro obklady v interiérech a exteriérech, které jsou vystaveny zvýšenému zatížení vodou nebo vlhkostí [18].



*Obrázek 16 Panel FLEIBULD CARTON [17]*



*Obrázek 17 Výstavba domu z panelů Flexibuild [18]*

#### 4.3.2 Výrobky z vylisovaných nápojových kartonů

V posledních letech je velice populární zpracovat celé tetrapaky na různé užitečné věci. V indii například tento odpad zužitkují tak, že se celé kartony vylisují do školních lavic a židlí (obr 18) [34].

Tento způsob zpracování umožňuje vylisovat nápojové kartony do věcí různého využití a tvarů (obr 19). Jelikož polyethylenová fólie, která je obsažená v kartonu slouží jako lepidlo, tak se nemusí používat různá lepidla, a zároveň působí izolačně, tzn. že výrobek je odolný proti vodě [34].



Obrázek 18 Slisovaný karton do školních lavic [35]



Obrázek 19 Různé výrobky z recyklovaného kartonu [36]

## 4.4 Jiné metody využití

### 4.4.1 Energetické využití – spalování

Z chemického hlediska je spalování vysokoteplotní oxidace. Hlavním cílem spalování je snížit množství organických kontaminantů v odpadech, omezit množství odpadů a zkoncentrovat kovy v pevných produktech spalování [17].

Spalování odpadu má několik fází. Nejdřív probíhá předsoušení odpadů, které je realizováno díky sálání plamene z dalších vrstev spalování a také díky přívodu vzduchu. V této fázi se teplota pohybuje okolo 100 °C. V další fázi následuje odplynění odpadů. Zde probíhají reakce mezi kyslíkem a látkami na bázi uhlíku, které začnou oxidovat a vyvíjet hořlavé plyny. Poslední fáze je samotné spalování odpadů. Po zapálení odpadu začnou vznikat ložiska hoření na povrchu odpadového lůžka. S přívodem dalšího vzduchu vznikají nová ložiska hoření. Dochází k prohořívání lůžka a vzniku plynů ve větší hloubce. Tyto plyny poté procházejí vrstvou odpadu a nad ní vyhořívají [17,23].

Zařízení na spalování odpadů je celá řada, jako například – etážová pec, muflová pec, rotační pec, roštová pec, bubnové rotační pece, fluidní pece [17].



## 5. Cíle práce

Nápojové kartony používané jako obalový materiál patří mezi polykomponentní odpady. Zpracování těchto odpadních obalů je proto náročné a vyžaduje použití specifických postupů. Cílem této bakalářské práce je teoreticky popsat klasické i nové metody zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů a zabývat se různými technologiemi využití tohoto odpadu.

Dílními cíli této práce je:

- charakterizovat tento typ odpadu – odpadní nápojové kartony,
- shrnout legislativu týkající se problematiky, způsoby nakládání s použitými nápojovými kartony,
- popsat jednotlivé způsoby zpracování odpadních nápojových kartonů a možnosti využití celých tetrapaků nebo jednotlivých materiálových složek,
- popsat technologie zpracování a využití vyseparovaných odpadních fólií z nápojových kartonů včetně postupů, při kterých je získáván i hliník v kovové formě,
- provést hodnocení současného stavu využívání tetrapaků, včetně recyklačních technologií,
- shrnout aplikace, ve kterých je možné využít produkty po recyklaci tetrapaků,
- zhodnotit možnosti zpracování a využívání tohoto typu odpadu pro budoucnost.

## 6. Praktická část

V návaznosti ke stále se zvyšujícímu množství vyhozených nápojových kartonů se různé společnosti a laboratoře snaží vyvinout nejrůznější metody zpracovávání nápojových kartonů a získání hliníkové a velice cenné polyethylenové složky.

Zpracováním vícevrstvého polymerového odpadu se v České Republice zabývá firma Plastigram Industries a.s. Zkušební vzorky pro praktickou část byly poskytnuty právě touto firmou. Tento podnik získává z tohoto odpadu produkty jako je polyethylen s nízkou hustotou (LDPE), polyethylen s vysokou hustotou (HDPE) a hliníkový prášek nebo drť. Jelikož je jejich technologie a podmínky zpracování stále ve formě testování, tak technologie zpracování není zveřejněna [<http://www.plastigram.eu/>].

Firmou Plastigram Industries a.s. byly poskytnuty 2 vzorky. Vzorek T1 představuje typický produkt po zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů a typově podobných odpadů (obr. 20). U vzorku byl stanoven obsah hliníku metodou ED-XRF pomocí spektrometru Delta Professional (obr. 21). Tento vstupní produkt obsahoval v průměru 57,61 hm. % hliníku. Výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 2.



*Obrázek 20 Produkt po zpracování odpadních fólií z nápojových kartonů*



Obrázek 21 Spektrometr Delta Professional

Tabulka 2 Výsledky analýzy vzorku T1

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	Ø
Obsah Al (hm.%)	55,56	52,03	56,95	51,16	47,51	57,46	64,57	58,25	71,85	60,78	57,61

### 6.1.1 Zpracování vzorku T2

Dále byl firmou Plastigram Industries a.s. poskytnut vstupní vzorek o hmotnosti 967,37 g, který pocházel také ze zpracování, ale za jiných podmínek než vzorek T1. Vzorek byl dodán v neupraveném stavu (mokrý). Vzorek byl označen jako T2 a je na obrázku 22. Tento vzorek byl poměrně mokrý, proto ho bylo nutné před dalším zpracováním vysušit.

Sušení probíhalo v sušárně při teplotě 60 °C po dobu 124,5 hodin. Vzorek byl rozprostřen na ploše o tloušťce vrstvy 4-5 cm. Hmotnost vzorku před započítáním sušení byla 967,37 g. V tabulce č. 3 jsou zapsány hodnoty stanovené hmotnosti. Změny hmotnosti v závislosti na době sušení jsou zobrazeny na obr. 23.

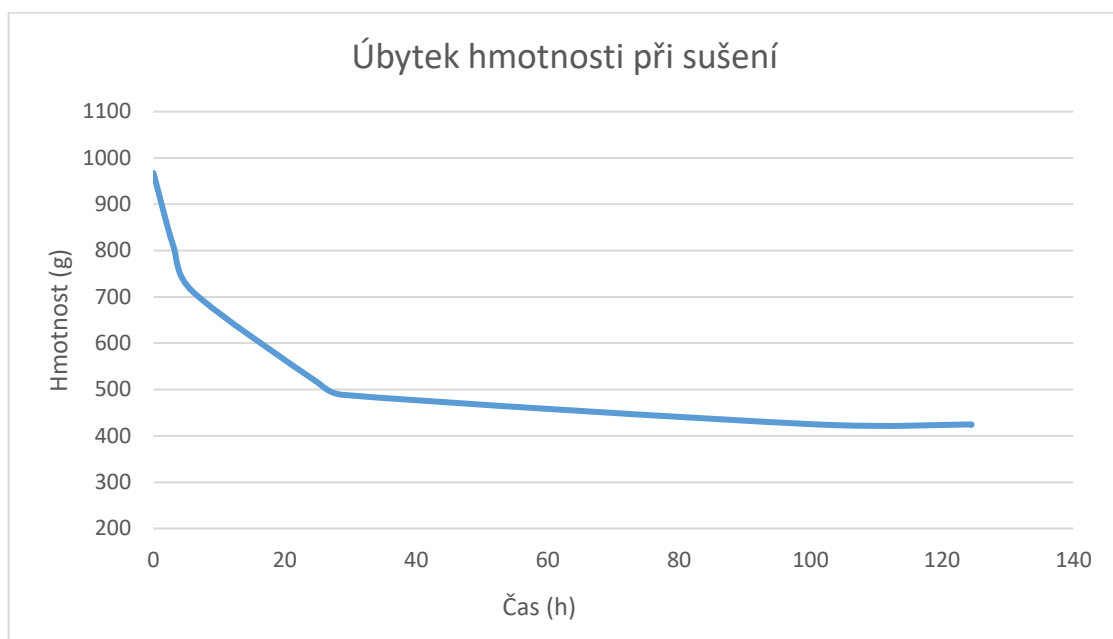


Obrázek 22 Mokrý vzorek

Tabulka 3 Úbytek hmotnosti vzorku

Doba sušení (h)	Hmotnost vzorku (g)
0	967,37
3	811,04
6	711,15
25	515,13
28,5	488,57
100,5	424,96
124,5	424,75
124,5	423,81





*Obrázek 23 Znáznornění úbytku hmotnosti v závislosti na době sušení*



*Obrázek 24 Vysušený vzorek T2*

Vzorek byl sušen do konstantní hmotnosti (obr. 24). Sušení probíhalo po dobu více jak 120 h. Z obrázků 22 a 24 je patrné, že tento vzorek neobsahuje jen odpadní fólie z tetrapaků,

ale i podíl dalšího plastového odpadu. Podíl hliníku byl tedy nižší než u vzorku T1. Obsah hliníku byl stanoven na 32,83 hm. %.

Po vysušení byla odebrána část vzorku T2 o hmotnosti 116,14 g. Materiál byl mechanicky upraven drcením, aby došlo k uvolnění částic vzorku spojených sušením. Poté následovalo roztřídění na sítích, která měla velikosti ok 5, 4 a 3,15 mm.

Po roztřídění na těchto sítích vznikly 4 frakce o následujících velikostech:

- 1. frakce: > 5 mm
- 2. frakce: 5 mm – 4 mm
- 3. frakce: 4 mm – 3,15 mm
- 4. frakce: < 3,15 mm

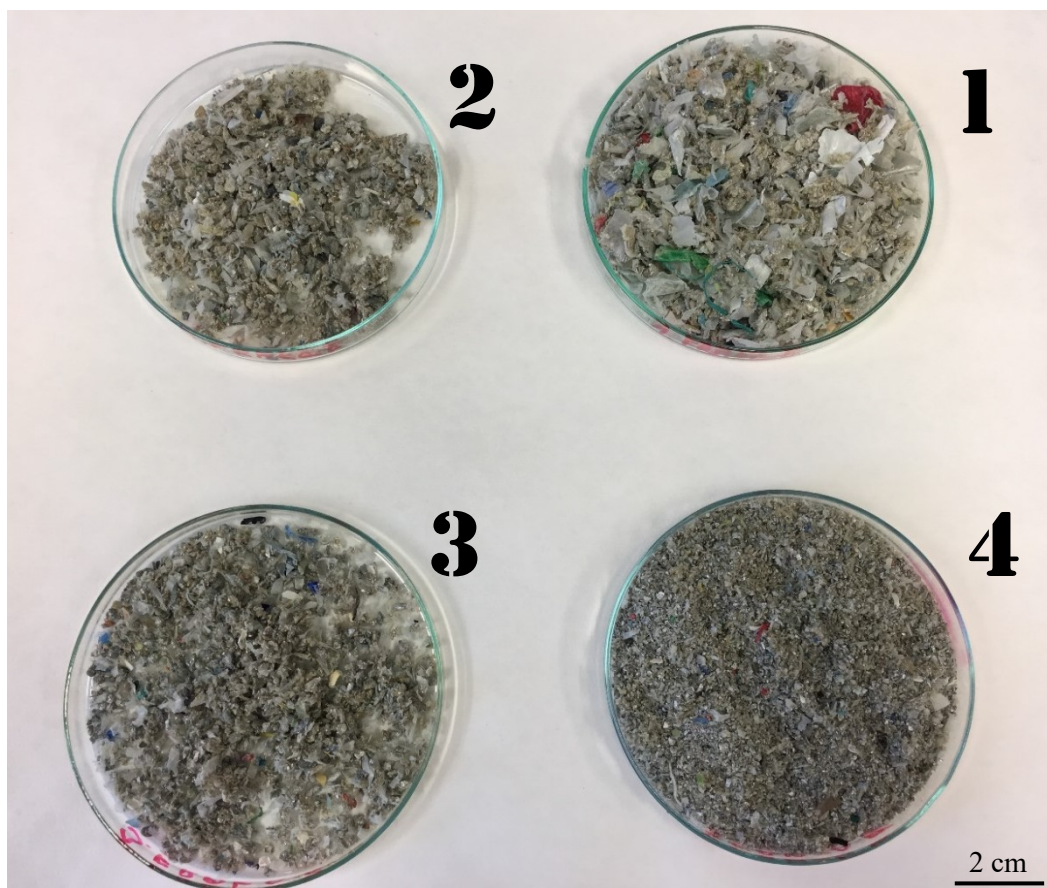
Jednotlivé velikostní frakce byly zváženy a byl stanoven jejich hmotnostní podíl. Uvedené hmotnosti frakcí jsou zapsány v tabulce 4.

*Tabulka 4 Hmotnosti frakcí*

<b>Frakce (mm)</b>	<b>Hmotnost frakce (g)</b>
>5	42,45
5-4	16,18
4-3,15	14,08
< 3,15	43,13

Na obrázku 25 vidíme velikostně rozdělený nápojový karton na frakce různé velikosti, kde největší frakce měla velikost > 5 mm a naopak nejmenší < 3,15 mm. Ve frakci o největší zrnitosti (1) se zachytily různé zbytky polymerů a smotky papírů. Do frakce o nejmenší zrnitosti (4) propadl s největším zastoupením kovový hliník a zbytky různých polymerů a prachu. Pomocí rentgenové analýzy bylo zjištěno, že hliník je zastoupen v každé frakci avšak s jiným podílem. Hodnoty obsahu Al jsou uvedeny v tabulkách 5-8. Z výsledků je zcela zřejmé, že obsah hliníku závisí na velikosti frakce. Jeho obsah je v největší frakci 1 asi 10 hm. %, poté se hodnota zvyšuje. Nejvyšší obsah hliníku má frakce 4, a to průměrně 43 hm. %.





Obrázek 25 Jednotlivé velikostní frakce (1- největší, 4 - nejmenší zrnitost)

Tabulka 5 Obsah prvků ve frakci >5

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	12,6	7,31	10,39	9,31	11,50	10,194

Tabulka 6 Obsah prvků ve frakci 5–4 mm

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	12,96	13,86	14,48	13,99	16,37	14,332

Tabulka 7 Obsah prvků ve frakci 4-3,15 mm

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	26,37	27,83	16,12	17,00	21,44	21,752

Tabulka 8 Obsah prvků ve frakci <3,15

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	41,87	45,91	43,89	46,32	40,911	43,7802

## 6.2 Žihání velikostně nerozděleného vzorku T2

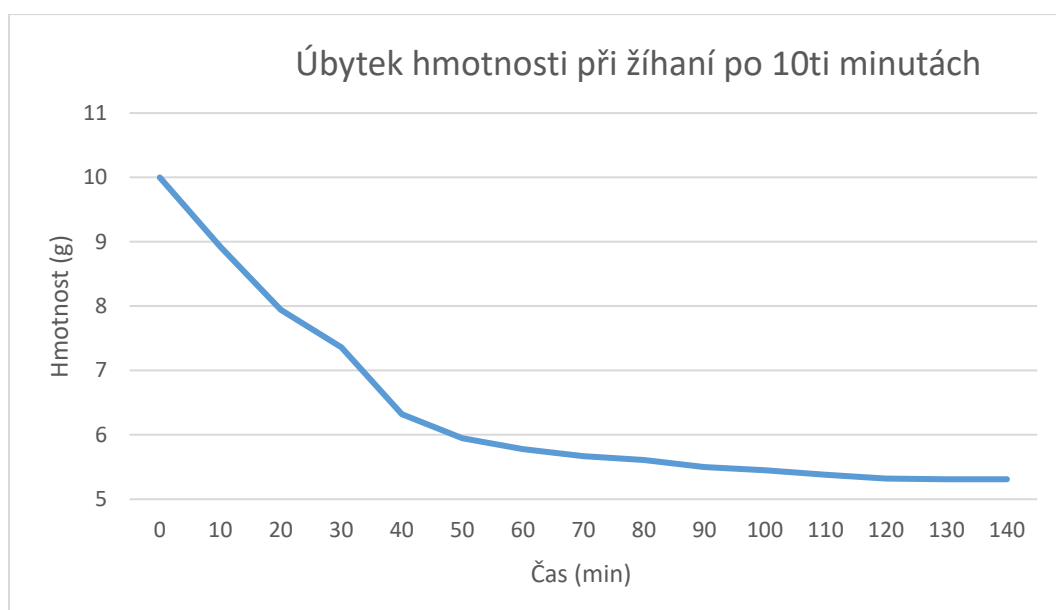
Žihání probíhalo v elektrické peci Clasic s regulátorem Clare 4.0 (obr. 26) při teplotě 400 °C. Bylo žiháno 10 g velikostně nerozděleného vzorku T2. Vzorek se žíhal po dobu 150 minut do ustálení hmotnosti. Vzorek byl žíhán v porcelánovém kelímku, který byl umístěn v ochranném ocelovém kontejneru. V průběhu žihání byl vzorek vážen každých deset minut, aby se zjistil úbytek váhy. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9. Před každým vážením se nechal porcelánový kelímek zchladit v exsikátoru, aby bylo možno s ním lépe manipulovat.



Obrázek 26 Elektrická pec CLASIC

Tabulka 9 Postupný úbytek hmotnosti

Čas žihání (min)	Hmotnost (g)	Čas žihání (min)	Hmotnost (g)
0	10,00	80	5,61
10	8,92	90	5,5
20	7,94	100	5,45
30	7,36	110	5,38
40	6,32	120	5,32
50	5,95	130	5,31
60	5,78	140	5,31
70	5,67		



Obrázek 27 Graficky znázorněný úbytek hmotnosti při žihání

Z tabulky 8 můžeme vyčíst, že úbytek hmotnosti byl bezmála poloviční. Na obrázku 28 můžeme vidět rozdíl před žiháním a po žihání. Po žihání zůstal jen hliník a uhlík. Detail vzniklého produktu je na obr. 29. Takto upravený odpad by mohl být využit pro některé aplikace. Otázkou je oddělení podílu Al z takto jemnozrného produktu. Obsah hliníku byl stanoven na 43,7802 %.



*Obrázek 28 Vlevo vzorek před žíháním, vpravo vzorek po žíhání*



*Obrázek 29 Vyžíhaný vzorek rozdělen kvartálně*

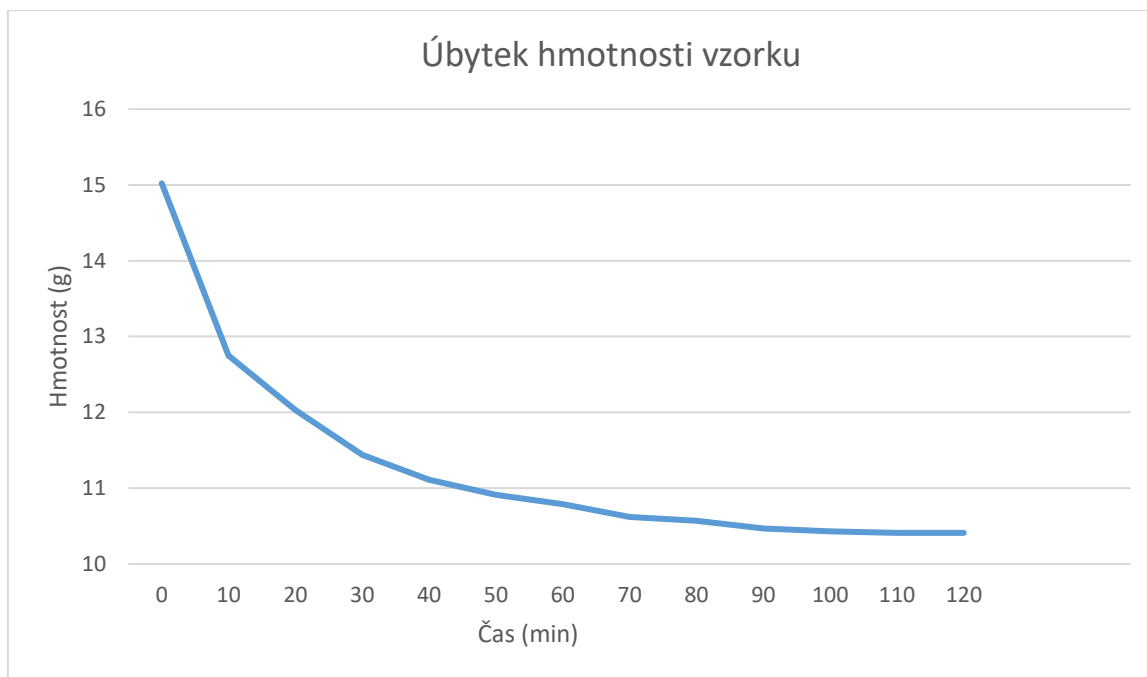
### 6.3 Žihání vzorku o velikosti < 3,15 mm

Následovalo žihání nejmenší velikostní frakce vzorku T2, který obsahoval nejvyšší podíl hliníku. Žíhal se vzorek o zrnitosti < 3,15 mm. Žihání probíhalo při teplotě 400 °C po dobu 130 minut do ustálení hmotnosti. Objem vzorku byl přibližně stejný jako v předchozím případě, přičemž hmotnost odpovídala asi 15 g. Toto žihání proběhlo o 20 minut rychleji než u netříděného vzorku T2, což souvisí s nižším podílem spalitelného podílu – polymerů a papíru. Každých 10 minut probíhalo kontrolní vážení a promíchání žihaného vzorku. Úbytky hmotností jsou uvedeny v tabulce 10. Detail vzorek před a po žihání je na obrázku 31. Obsah hliníku byl stanoven na 45,688 % (tab. 11). Při tomto žihání se nijak razantně nezvýšil obsah hliníku, než při předchozím pokusu

Tabulka 10 Úbytek hmotnosti při žihání vzorku T2

Čas žihání (min)	Hmotnost (g)	Čas žihání (min)	Hmotnost (g)
0	15,02	70	10,62
10	12,75	80	10,57
20	12,03	90	10,47
30	11,44	100	10,43
40	11,11	110	10,41
50	10,91	120	10,41
60	10,79		





Obrázek 30 Závislost úbytku hmotnosti na čase



Obrázek 31 Vzorek před žíháním (vlevo) a po žíhání (vpravo)

Tabulka 11 Obsah hliníku ve vyžíhaném vzorku

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	46,10	45,83	46,32	44,23	45,96	45,688



## 6.4 Zpracování a žíhání velkých kusů nápojových kartonů

S ohledem na složitý postup oddělení hliníku a uhelnatého zbytku byl ověřen proces na větších kusech tetrapaku. Tetrapak byl připraven ve formě obdélníků o rozměrech 100 x 50 mm (obr. 32).



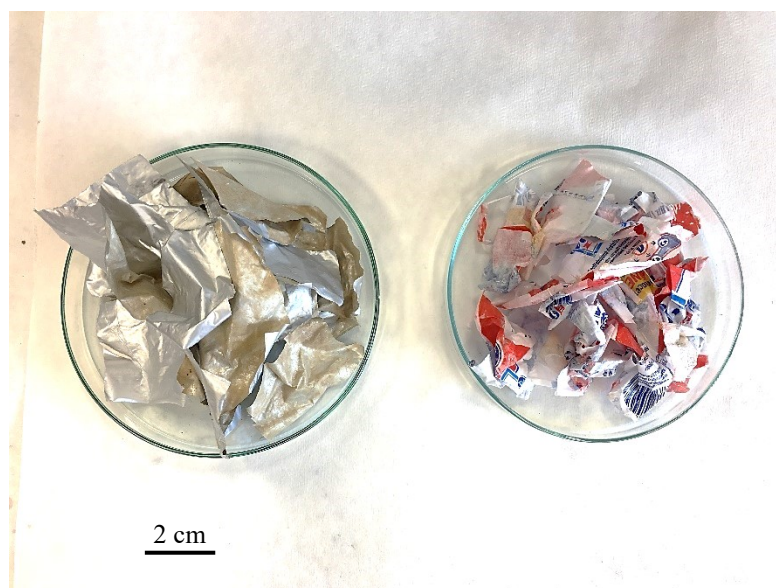
*Obrázek 32 Nápojový karton před zpracováním*

Kusy nápojových kartonů o velikosti cca 6x5 cm byly namočený na několik hodin do vody, aby šel papír snáz oddělit od fólií. Takto namočené kusy nápojového kartonu byly následně míchány pomocí mechanického míchadla, kde se ve vodě od sebe oddělil papír a fólie (obr. 33). Směs polyethylenové a hliníkové fólie ALU/PE byla vysušena v sušárně a použita pro další zpracování.

Při odseparování bylo zjištěno, že společnost Tetrapak, jejíž obal byl užít, používají dva druhy papíru – čistý bílý na svrchní vrstvu obalu a hnědý nebělený papír.

Z původního vzorku, který vážil 32,65g bylo odseparováno:

- 18,91 g papíru
- 12,83 g ALU/PE fólie

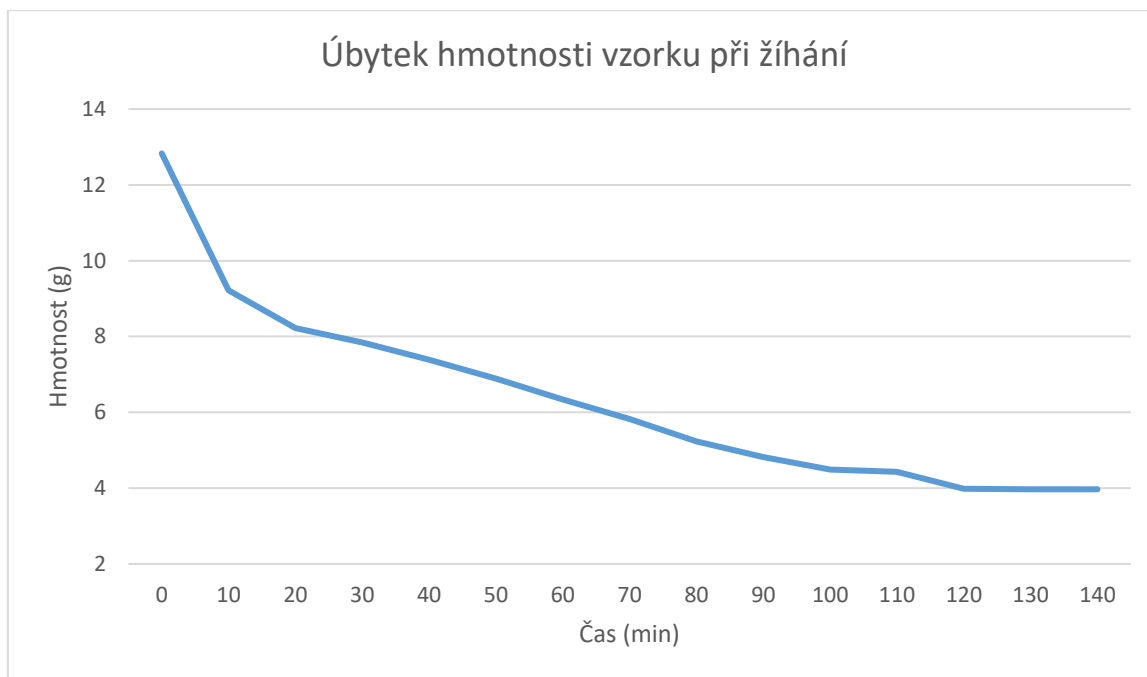


Obrázek 33 Oddělené PE a PE/ALU fólie

Následné žíhání odseparovaných PE/ALU fólií probíhalo v peci CLASIC při teplotě 400 °C po dobu 150 minut. Úbytek hmotnosti můžeme pozorovat v tabulce 12.

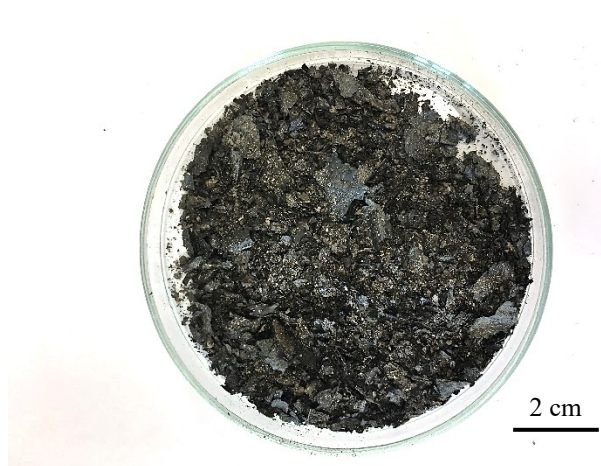
Tabulka 12 Úbytek hmotnosti při žíhání velkých kusů

Čas vážení (min)	Hmotnost (g)	Čas vážení (min)	Hmotnost (g)
0	12,83	80	5,23
10	9,22	90	4,82
20	8,22	100	4,49
30	7,84	110	4,43
40	7,39	120	3,98
50	6,89	130	3,97
60	6,34	140	3,97
70	5,82		



Obrázek 34 Závislost úbytku hmotnosti na čase

Při žíhání se podařilo odstranit všechn polyethylen a zbytkový papír, který zůstal ve formě popela a zbyla pouze hliníková fólie, která zlehka zoxidovala. Z původního vzorku, který vážil 32,65 g bylo 2,98 g hliníkové fólie, což představuje zhruba 9,12 % hmotnosti.



Obrázek 35 Popel



Obrázek 31 Hliníkové fólie získané žháním

Analýza se prováděla na přístroji Delta Professional. Analýze se podrobil, jak zbylý popel, tak i hliníkové fólie zbavené polyethylenem.

Jak můžeme vidět v tabulce 13, tak popel obsahoval průměrně 1,44 % hliníku, což je zanedbatelné množství v porovnání se získanými fóliemi, které obsahují téměř čistý hliník s malou příměsí železa.

Tabulka 13 Obsah hliníku v popelu

Č. měření	1.	2.	3.	Ø
Obsah Al (hm. %)	1,37	1,61	1,35	1,44

Tabulka 14 Obsah hliníku ve fólii

Č. měření	1.	2.	3.	4.	5.	Ø
Obsah Al (hm. %)	99,63	98,99	99,12	99,17	99,35	99,252

## 6.5 Využití produktů po zpracování

Takto zpracovaný, nebo jinak upravený odpad nápojového kartonu, lze využít dále na další aplikace. Při delaminaci PE/ALU firma Plastigram Industries a.s. přetaví polyethylen do LDPE granulátu a nadrcený HDPE plast z víček. [37]

Oddělená hliníková drť se rovnou odlít do hliníkových ingotů, nebo se využije v řadě aplikací, jako například pyrotechnika, prášková metalurgie, jako přísada do betonu, výroba barev a hliníkových pigmentů atd.[28].

Po žíhání vzorku T2 se nám nepodařilo oddělit od sebe hliníkovou složku a zbylý popel. Otázkou však zůstává, zda by bylo možné tento proces využít v reálných podmínkách. I když je tento proces poměrně schůdný, je ekonomicky a ekologicky náročný, a proto by tento proces nebyl příliš výhodný.

Neoddělený popel od hliníkové složky by teoreticky nevadil při výrobě pórobetonu. Dle mého názoru by uhlík jen lehce obarvil pórobeton a nijak by neublížil vlastnostem daného materiálu. Avšak na druhou stranu by mohl vadit při desoxidaci oceli, jelikož by mohl zvýšit obsah uhlíku v oceli.

## 7. Závěr

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na základní charakteristiku dnes nejpoužívanějších obalů, a to nápojových kartonů, jejich třídění, sběr a recyklaci. Recyklace nápojových kartonů je velice specifická z důvodu jejich složení ze tří různých materiálů. Třídění a následná recyklace má mnoho výhod. Je zdrojem kvalitního papíru, kovového hliníku a také polyethylenu, který slouží jako energetické složka při spalování. Z odpadních nápojových kartonů se získává převážně jen papír a polyethylenové fólie slouží jako energetické složka při spalování. Zpracování nápojového kartónu skrývá mnoho možností. Jednak se celé kartóny mohou slisovat do stavebních desek, které se pak používají na stavbu domů. Nápojové kartóny mohou lisovat taktéž do vlnovek, které slouží jako střešní šindele, různého nábytku a věcí pro praktické použití. Po delaminaci tzn. při oddělení ALU/PE fólie od sebe, mají produkty jako je hliníková drť a polyethylen mnoho různých aplikací.

Praktická část práce byla zaměřena na tepelný pochod – žíhání nápojových kartonů z důvodu procentuálního obohacení hliníku a odstranění polyethylenu a papíru. K dispozici bylo několik vzorků, které byly podrobeny chemické analýze. V první řadě byl měřen vzorek T1. Ukázalo se, že procentuální obsah hliníku ve vysušeném vzorku T1 byl průměrně 54,6 %, naopak vzorek T2, který byl použit na další pokusy, obsahoval průměrně jen 32,8 %. Při následném žíhání hrubého vzorku T2 při 400 °C se vyžihalo 43,9 % hmotnosti. Po následném přesítí vysušeného vzorku T2 na 4 různé frakce se měřila koncentrace prvků, kde bylo zjištěno, že největší procentuální obsah hliníku měla frakce o zrnitosti <3,15 a to 43,7802 hm.%. Při žíhání vzorku o velikosti <3,15 mm se zjistilo, že procentuální obsah hliníku byl 145,688 hm. %, takže nebylo dosaženo dostatečné úrovně obsahu hliníku ve vzorku.

Poslední pokus byl zaměřen na žíhání celých kusů nápojových kartonů. Takto nastříhané kartóny se nejprve nechaly odmočit, aby se z nich lehce oddělil papír od zbytku fólie. Při následném žíhání ALU/PE fólií se podařilo odžít všechny polyethylen a zbytkový papír, který zůstal v kelímku ve formě popela. Následná rentgenová analýza ukázala, že v získaném hliníku byla příměs železa a dalších stopových prvků.

V praktické práci bylo zjištěno mnoho výhod a nevýhod žíhání. Mezi výhody určitě patří to, že se sníží objem materiálu a získá se hliník. Mezi nevýhody bych zařadil to, že tento proces vyžaduje dobré odvětrávání, jelikož vypalování polyethylenu a jeho uvolňování do



ovzduší, kde člověk pracuje, je životu nebezpečné. Další nevýhodou je určitě fakt, že se zbavíme velmi celého materiálu jako je polyethylen.

## Seznam použité literatury

- [1] Vznik a vývoj nápojového kartonu. *Laktea* [online]. Laktea, 2018 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.laktea.cz/index.php?page=clanky&article=vznik-a-vyvoj-napojoveho-kartonu>
- [2] FSC certifikace. *FSC Česká Republika* [online]. Laktea, 2009 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.czechfsc.cz/fsc-certifikace.html>
- [3] ŽIŽKOVÁ, Jana. Vrstvené kartony nejen na nápoje. Odborná škola [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [http://www.odbornaskola.cz/joomla/images/stories/odbornaskola/zizkova/vrstven\\_kartony\\_nejen\\_na\\_npoje.pdf](http://www.odbornaskola.cz/joomla/images/stories/odbornaskola/zizkova/vrstven_kartony_nejen_na_npoje.pdf)
- [4] 60 % domácností v USA třídí nápojové kartony.: *Svět balení* [online]. Svět balení, 2017 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.svetbaleni.cz/2017/01/30/60-domacnosti-v-usa-tridi-napojove-kartony/>
- [5] Packaging material for Tetra Pak carton packages [online]. Tetra Pak International S.A. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.tetrapak.com/packaging/materials>
- [6] Třídím jako Diva: Kam s nápojovým kartonem? [online]. Tetra Pak International S.A., 2017 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2017/07/14/tridim-jako-diva-kam-s-napojovym-kartonem/>
- [7] ULLRYCH, Jaroslav. *Chemie pro horníky*. 2. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7078-967-0.
- [8] ZAJONS, Onřej. *Problematika nakládání s obaly z nápojových kartónů*. Ostrava, 2009. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.
- [9] Recyklace nápojových kartonů. Ecoservis: Komplexní nakládání s odpady [online]. Liberec [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.ecoservis.eu/recyklace-napojovych-kartonu>
- [10] Historie [online]. Praha: EKO-KOM, c2011-2018 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.ekokom.cz/cz/ostatni/o-spolecnosti/system-eko-kom/historie>
- [11] Přehled dosahovaných výsledků. *EkoKom* [online]. Praha: Ekokom, 2018 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.ekokom.cz/cz/ostatni/vysledky-systemu/vyrocní-shrnutí>
- [12] Recycling rates are continually growing. *ACE* [online]. Praha: ACE, 2018 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://www.beveragecarton.eu/ace-priorities/recycling-2/recycling-performance>
- [13] Jak se recyklují nápojové kartony. Třídění odpadu [online]. 2007 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/#!/jak-se-recykluji-napojove-kartony>
- [14] HAMZEH, Yahya, Sanaz SABBAGHI, Alireza ASHORI, Ali ABDULKHANI a Farshid SOLTANI. Improving wet and dry strength properties of recycled old corrugated carton (OCC) pulp using various polymers [online]. [cit. 2018-04-24]. DOI:

- 10.1016/j.carbpol.2013.01.078. ISBN 10.1016/j.carbpol.2013.01.078. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0144861713001240>
- [15] ŠTVERKA, Marek. *Možnosti využití použitých kartonových vrstvených obalů*. Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Prof. Ing. Helena Raclavská, CSc.
- [16] ZAWADIAK, Jan. Tetra Pak Recycling – Current Trends and New Developments. *American Journal of Chemical Engineering* [online]. 2017, 5(3), 37- [cit. 2018-05-15]. DOI: 10.11648/j.ajche.20170503.12. ISSN 2330-8605. Dostupné z: <http://www.sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=224&doi=10.11648/j.ajche.20170503.12>
- [17] KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [18] *Možnosti aplikace recyklovatelných materiálů ve stavebnictví 2*. [online]. 2009 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.bydleni.cz/clanek/Moznosti-aplikace-recyklovatelnych-materialu-ve-stavebnictvi-2>
- [19] Construction system. Flexibuild: A house for the price of an apartment [online]. 2009 [cit. 2015-03-24]. Dostupné z: <http://www.flexibuild.cz/en/construction-system/>
- [20] Z nápojových kartonů či slámy vyrábějí panely a staví domy. České firmy se učí využívat odpady. *Hospodářské Noviny* [online]. 2017, 2017, 2 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [http://www.cistykraj.cz/pool/2017\\_2\\_14%20z%20napojovych%20kartonu%20ci%20sla%20vyrabeji%20panely%20a%20stavi%20domy\\_CR.pdf](http://www.cistykraj.cz/pool/2017_2_14%20z%20napojovych%20kartonu%20ci%20sla%20vyrabeji%20panely%20a%20stavi%20domy_CR.pdf) F
- [21] Nestačí mít nový materiál, je také nutné ukázat, jak a co z něj stavět. *Stavebnictví* [online]. Brno, 2007 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: [http://www.casopisstavebnictvi.cz/destaci-mit-novy-material-je-take-nutne-ukazat-jak-aco-z-nej-stavet\\_N3179](http://www.casopisstavebnictvi.cz/destaci-mit-novy-material-je-take-nutne-ukazat-jak-aco-z-nej-stavet_N3179)
- [22] REMEŠ, Michal. *Možnosti aplikace recyklovatelných materiálů ve stavebnictví 1*. Bydlení.cz [online]. 2008 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.bydleni.cz/clanek/Moznosti-aplikace-recyklovatelnych-materialu-vestavebnictvi-1>
- [23] MALAŤÁK, Jan. *Spalovny.: Termické zpracování odpadů* [online]. Praha, 2006 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1390757-Termicke-zpracovani-odpadu-ing-jan-malatak-ph-d.html>
- [24] What is pyrolysis? Pyrocraft system [online]. 2008 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.pyrolysisplant.com/what-is-pyrolysis>
- [25] Pyrolýza odpadů – moderní způsob jejich zneškodnění. Enviweb [online]. 2013 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/odpady/94618/pyrolyza-odpadumoderni-zpusob-jejich-zneskodneni>

- [26] PAVLÍK, Petr. Návrh spalovací komory pro nahřívání pyrolýzní pece [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/93736> . Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [27] JÍLKOVÁ, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a Radek ČERNÝ. Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů. *Paliva* Paliva [online]. 2012 [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.paliva.vscht.cz/download.php?id=76>
- [28] YAN, Dahai, Zheng PENG, Yuqiang LIU, Li LI, Qifei HUANG, Minghui XIE a Qi WANG. Optimizing and developing a continuous separation system for the wet process separation of aluminum and polyethylene in aseptic composite packaging waste [online]. [cit. 2018-04-24]. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.10.008. ISBN 10.1016/j.wasman.2014.10.008. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X14004929>
- [29] Hliníkový prášek [online]. Praha [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.jetchem.cz/products/Hlinikovy-Prasek/>
- [30] Pyrotechnické složení a jejich části [online]. Praha: Ondrák, c2011-2014 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.ohnostroje-ondrak.cz/Pyrotechnicke-sloze-a-jejich-casti.html>
- [31] Stavební Hmoty [online]. 3. vydání. Praha, 2013 [cit. 2018-05-14]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>
- [32] SKOTNICOVÁ, Kateřina. *Prášková metalurgie*: studijní opory : učební text, scénáře, testy. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3378-1.
- [33] Brazil's small-scale business model for recycling post-consumer tetra paks [online]. 2009 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://bestinpackaging.com/2009/12/13/brazil%E2%80%99s-small-scale-business-model-for-recycling-post-consumer-tetra-paks/>
- [34] Delhi recycles used Tetra Pak cartons into furniture, stationery for lesser privileged schools [online]. Nové Dillí, 2013 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.tetrapak.com/in/about/newsarchive/deldi-recycles-used-tetra-pak-cartons-into-furniture>
- [35] How does Tetra Pak work? [online]. 2017 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-does-Tetra-Pak-work>
- [36] Environment Friendly – Tetra Pak Cartons [online]. 2015 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.gettingeasy.com/environment-friendly-tetra-pak-cartons/>
- [37] Products [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.plastigram.eu/index.html>

- [38] WORRELL, Ernst a M. A. REUTER. *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Boston: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-396459-5.